

学校编码: 10384

分类号_____密级_____

学 号: X200440006

UDC _____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

**eMPMS—面向环保领域的电除尘系统用嵌
入式多口 Modbus 服务器的研究与应用**

**The Study and Application of eMPMS—embedded Multiply Port
Modbus Server that Oriented the Domain of Environmental
Protection and Applies for the Electrostatic Precipitator System**

钱云亮

指导教师姓名: 姚 俊 峰 副教授

专 业 名 称: 软 件 工 程

论文提交日期: 2007 年 11 月

论文答辩时间: 2007 年 月

学位授予日期: 2007 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2007 年 11 月

厦门大学学位论文原创性声明

兹提交的学位论文，是本人在导师指导下独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文产生的权利和责任。

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人完全了解厦门大学有关保留、使用学位论文的规定。厦门大学有权保留并向国家主管部门或其指定机构送交论文的纸质版和电子版，有权将学位论文用于非赢利目的的少量复制并允许论文进入学校图书馆被查阅，有权将学位论文的内容编入有关数据库进行检索，有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

本学位论文属于

1. 保密（ ），在 年解密后适用本授权书。
2. 不保密（ ）

（请在以上相应括号内打“√”）

作者签名： 日期： 年 月 日

导师签名： 日期： 年 月 日

摘 要

近年来,随着我国对环境保护的日益重视,国家加大了大气污染治理的力度,发电厂、钢厂等燃煤企业的电除尘系统的重要性也越来越明显,电除尘 SCADA (数据采集与监视控制)系统作为电除尘的核心组成部分为保证电除尘系统的可靠运行和除尘效率的提高起着极为重要的作用。

本文首先分析了电除尘 SCADA 系统中目前存在的应用范围较窄、可靠性较低、无标准协议接口、无法与 DCS (集散控制系统)系统集成等问题,提出了开发 eMPMS (嵌入式多口 Modbus 服务器)的解决方案,并从技术创新性、技术成熟性及国内外产品对比等角度阐述其实施的必要性和可行性。

而后针对 eMPMS 的系统需求,从技术角度详细论述了其整体解决方案,硬件部分包括硬件平台选型、硬件设计、驱动程序开发,软件部分包括基于 uClinux 平台的软件系统架构、多进程模型及调度策略、Modbus 应用层协议的实现等;同时对 eMPMS 在工业现场的应用情况进行了总结,最后对 eMPMS 的后续工作进行了简要说明。

嵌入式多口 Modbus 服务器 eMPMS 作为电除尘 SCADA 系统的中间层业务支撑平台——能够并行监控多条 Rs422/485 总线的现场控制设备,为现场控制设备提供标准的基于 TCP/IP 的 Modbus 协议,实现了电除尘 SCADA 系统远程控制的距离无关性;同时作为现场控制层与 DCS 系统的中介,使已在现场应用的大量控制设备,能通过标准的工业协议,实现与 DCS 系统的集成;从而大大扩展了电除尘 SCADA 系统的灵活性和应用范围,促进了电除尘系统的高效运行,为减低电厂粉尘排放和环境保护起到积极作用。

关键词: 嵌入式系统; Modbus; SCADA

ABSTRACT

In recent years, the government strengthened the atmosphere pollution treatment with the greater attention given to environment protection, the ESP (Electrostatic Precipitator) system becomes more and more important in Power plants and steel works that use coal as energy source, the SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) system for ESP as the kernel component of ESP system pays an important role in the reliably running of ESP system and improving the dusting efficiency.

This paper firstly analyzes the exist questions of the ESP SCADA system, such as limited application range, low reliability, without standard interface and couldn't integrate with DCS (Distributed Control System) system. Then, this paper raises the solution of developing the embedded multiply Port Modbus Server, and expounds the necessity and feasibility from three points of view which are technology originality, technology maturity and the comparison domestic and international.

Subsequently, according to the system requirement of eMPMS system, elaborates the total solution for eMPMS in detail, Hardware system includes the selection of hardware platform, hardware interface design and driver design, Software system includes software system structure based on uClinux platform, multiply process model and schedule strategy, the Implement of Modbus application protocol, and so on. At the same time, summarizes the application of eMPMS in industrial field. Finally, explains briefly the following task.

Embedded Multiply Port Modbus Server (eMPMS) acts as the middle tier business platform — could supervisory and control the various types of field control devices through 8 RS422/RS485 buses, provide standard Modbus protocol based on TCP/IP, accomplishes the ESP SCADA system with remote control and independent of distance. At the same time, acts as the agency of field control level and DCS system, makes the various types of field control devices integrate with DCS system through standard industrial protocol. So, eMPMS extends the application range and

flexibility of the ESP SCADA system, accelerate the efficiency of the ESP system, and plays a positive role in environment protection and the decrease of power plant's dust emission.

KEY words: embedded system; uClinux; SCADA

厦门大学博士论文摘要库

目 录

第一章、绪论	1
1.1 本文的选题依据和研究意义	1
1.2 目前国内外的研究现状	2
1.3 本文的研究目标	2
1.4 可能遇到的问题和解决方法	3
第二章、当前电除尘系统现状、面临问题及解决方案	4
2.1 电除尘 SCADA 系统、DCS 系统及工厂信息化的趋势	4
2.2 目前电除尘控制系统的现状	4
2.3 电除尘系统面临的主要问题	6
2.4 解决方案—EMPMS	7
2.4.1、方案可行性分析	7
2.5、MODBUS 协议	11
2.5.1 Modbus 应用协议规范	11
2.5.2 Modbus 数据模型	12
第三章、总体解决方案	13
3.1 硬件平台选型	13
3.2 EMPMS 软件模型	16
3.3 多进程的 EMPMS 软件方案	17
3.4 方案特点	19
第四章、硬件与驱动程序设计	20
4.1 多串行通信接口设计	20
4.1.1 TL16C554 芯片	20
4.1.2 接口电路设计	21
4.2 以太网电路设计	22
4.2.1 CS8900A 芯片	22
4.2.2 CS8900A 网络接口设计	23

4.3 UCLINUX 系统驱动程序设计	24
4.3.1 uClinux 系统的驱动程序架构.....	24
4.3.2 flash 设备及 JFFS 驱动.....	33
4.3.3 八串口驱动设计	38
4.3.4 扩展以太网口的驱动设计	42
第五章、基于 uClinux 平台的 eMPMS 应用软件开发设计	46
5.1 UCLINUX 系统分析.....	46
5.1.1 uClinux 的内核结构.....	47
5.1.2 uClinux 存储管理.....	48
5.1.3 uClinux 进程管理与进程间通讯.....	50
5.2 EMPMS 软件系统设计	53
5.2.1 应用软件概述	53
5.2.2 系统对象模型	55
5.2.3 多进程模型及调度策略	60
5.2.4 守护进程总体设计	62
5.2.5 读写进程设计与进程间通讯协作总体设计	65
5.2.6 Modbus 应用层协议实现.....	68
第六章、测试与应用情况	73
6.1 基于以太网的远程现场监控.....	73
6.2 与 DCS 系统的集成.....	74
第七章、总结与展望	75
参考文献	76
致谢	80

CONTENT

CHAPTER 1 INTRODUCTION.....	1
1.1 RESEARCH TOPIC BASIS AND SIGNIFICANCE	1
1.2 THE PRESENT CONDITION RESEARCH IN DOMESTIC AND INTERNATIONAL	2
1.3 RESEARCH TARGET	2
1.4 THE PROBLEM MAY MEET AND RESOLVENT	3
CHAPTER 2 THE STATUS AND FACING QUESTION OF ESP SYSTEM AND THE SOLUTION.....	4
2.1 ESP SCADA SYSTEM、DCS SYSTEM AND THE TREND OF PLANT’ INFORMATIONIZATION	4
2.2 THE STATUS OF ESP CONTROL SYSTEM	4
2.3 THE MAJOR QUESTION OF ESP SYSTEM	6
2.4 THE SOLUTION—EMPMS	7
2.4.1、Analyse the Feasibility.....	7
2.5、MODBUS PROTOCOL	11
2.5.1 Modbus Application Protocol Specification	11
2.5.2 Modbus Data Model	12
CHAPTER 3 TOTEL SOLUTION	13
3.1 SELECTION OF HARDWARE PLATFORM	13
3.2 EMPMS SOFTWARE MODEL.....	16
3.3 MULUTI-PROCESSES SOFTWARE SOLUTION OF EMPMS.....	17
3.4 CHARACTERISTICS OF THE SOLUTION	19
CHAPTER 4 THE HARDWARE AND DRIEVER DESIGN	20
4.1 THE DESIGN OF MULITI-SERIAL PORT’S INTERFACE CIRCUIT.....	20
4.1.1 TL16C554 Chip	20
4.1.2 the Design of Interface Circuit.....	21

4.2 THE DESIGN OF ETHERNET CIRCUIT	22
4.2.1 CS8900A Chip	22
4.2.2 the Design of CS8900A's Interface.....	23
4.3 THE DRIVER DESIGN IN UCLINUX SYSTEM.....	24
4.3.1 Driver Structure of uClinux System	24
4.3.2 flash and JFFS Driver	33
4.3.3 Driver Design for 8 COMs	38
4.3.4 Driver Design for Extend Network Inface.....	42
CHAPTER 5 eMPMS'sAPPLICATION SOFTWARE DEVELOPMEN	
BASED ON UCLINUX PLATFORM.....	46
5.1 ANALYSE OF UCLINUX SYSTEM.....	46
5.1.1 uClinux's Kernel Structure	47
5.1.2 uClinux's Storage Management.....	48
5.1.3 uClinux's Process Managemen and Interprocess Communication.....	50
5.2 SOFTWARE SYSTEM DESIGN OF EMPMS	53
5.2.1 The Summarization of Software	53
5.2.2 System Objects Model	55
5.2.3 MultiProcess Model and Schedule Strategies.....	60
5.2.4 System Design for Daemon	62
5.2.5 Sytem Design for Readwrite and Interprocess Communication.....	65
5.2.6 the Implement of Modbus Protocol	68
CHAPTER 6 TEST AND APPLLCATION	73
6.1 REMOTE SUPERVISORY AND CONTROL BASED ON ETHERNET	73
6.2INTEGRATION WITH DCS SYSTEM.....	74
CHAPTER 7 CONCLUSION AND FUTURE WORK.....	75
REFERENCE DOCUMENTATION	76
ACKNOWLEDGEMENT	80

第一章、绪论

1.1 本文的选题依据和研究意义

在采用煤炭作为能源的大型火力发电厂、钢厂等场合，燃煤的烟气排放必须经过除尘处理，目前国内基本上全部采用大型的高压静电除尘设备（电除尘器）进行粉尘处理。在一台电除尘器的控制系统中，包含了各种各样的下位机控制设备如高压控制设备、PLC (可编程控制器)、电加热控制设备、卸灰控制设备、振打控制设备、以及 AD（模拟量）数据采集设备、IO(数字量)数据采集设备，为实现上述设备的远程数据采集和监控一称之为电除尘 SCADA 系统，一般采取传统的 RS-485/RS-422 通讯界面将其与工控机连接。在发电厂等高干扰的工况下，RS-422/RS-485 通讯的距离一般限制在 200 米以内，否则，很难保证通讯的可靠性。很多情况下，进行远程控制的控制室距离工业现场远远大于 200 米，导致由于距离限制而无法实现分布式控制，大大限制了电除尘 SCADA (数据采集与监视控制) 系统的应用范围，而实施集中控制是提高电除尘效率、减低能耗的重要方式之一；

其次，即使在完成部署的电除尘 SCADA 系统中，由于其核心组成设备—工控机从本质上仍然属于微机范畴，存储介质一般为硬盘，CPU 及主板的散热采用风扇进行，运行 WinNT / Win2000 等操作系统，由于通讯距离限制，经常在靠近工业现场的高温、灰尘量大的控制室中运行，其可靠性无法保证，尤其现场控制室偶尔出现的突然断电更是无法接受；

更重要的是，为实现全厂现场控制设备的集中控制及数据共享，提高控制水平及节约人力成本，实现全厂范围的 DCS (集散控制系统) 系统已成为大势所趋。同时，目前的企业用户对电除尘 SCADA 系统的上位机软件多要求采用支持用户组态的 HMI（人机界面）软件开发（如目前全球市场占有率最高的 HMI 软件 iFIX），而这些组态软件，只支持采用标准通讯协议的下位控制设备；在目前电除尘系统中，大部分的现场控制设备如高压控制设备、电加热控制设备、卸灰控制设备、振打控制设备、以及 AD 数据采集设备、数字量 IO 设备基于单片机开发，通讯协议为自定义，不支持标准的工业通讯协议，而为满足用户采用组态软

件开发 SCADA 系统的需求，并实现与全厂 DCS 控制系统联网，电除尘系统的各控制设备需要至少一种标准的工业通讯协议支持，而目前在工业现场最为代表性的就是基于串口的 Modbus 协议和基于以太网的 Modbus/TCP 协议；

在这样的背景下，需要开发一种嵌入式系统，称之为 Modbus 服务器，可同时监控多条下位机通讯总线，称之为嵌入式多口 Modbus 服务器 eMPMS，作为是电除尘 SCADA 系统中间层业务支撑平台——能够通过多个串行接口并行监控多条 Rs422/485 总线的现场控制设备，同时，为上述现场控制设备提供 Modbus 协议支持，作为现场控制层与 DCS 系统的中介，使已在现场应用的大量控制设备，能通过标准的工业协议，并入 DCS 系统；从而用户可直接通过 DCS 系统实现对电除尘系统的控制，从而提高电厂的自动控制水平，减少原有配备的电除尘现场人力资源，大大降低用户的成本指出；

由上可见，通过开发 eMPMS，能够在提高企业的竞争能力、降低用户成本、提高电除尘控制效率、降低电厂烟气排放、节约能源等方面取得明显的社会效益；

另外，项目完成后，可在大型火电厂、钢厂等需部署电除尘系统及旧有系统升级改造的电除尘行业内大量推广，预计年使用量不低于 100 台，以每台 3 万元计算，每年可创造几百万的经济效益；

1.2 目前国内外的研究现状

目前，国内未发现同类设备，通过检索发现台湾 Advantech 公司开发的 ADAM4000 系列具有 Modbus 支持功能，但只支持标准的 IO 量和模拟量输入，不支持 RS422/485 通讯输入，并且不支持自定义规约功能，无法对上述控制设备提供服务，Moxa 公司的 NPORT 系列产品具有串口映射到以太网通讯的功能，但只是实现通讯介质的转换，不能提供标准协议支持；

因此，本项目具有一定的先进性和实用性。

1.3 本文的研究目标

论文将结合主要应用于大型发电厂、钢厂的电除尘等大气污染治理领域的行业特点，在对行业内的智能控制设备、电除尘 SCADA 系统需求进行分析的基础

上, 针对上述两者的中间层业务嵌入式支撑平台进行研究开发, 重点对以下内容展开论述、研究及开发:

综述目前电除尘等大气污染治理领域控制系统应用现状, 分析目前存在问题;

提出嵌入式多口 Modbus 服务器的实现方案, 阐述其实施的必要性和可行性;

对基于串口的 Modbus 协议及 Modbus/TCP 协议进行研究;

针对系统需求进行硬件系统选型及设计;

软件平台部分: 嵌入式操作系统选择、移植、驱动开发;

应用软件部分的开发, 现场实施情况分析。

1.4 可能遇到的问题和解决方法

鉴于电除尘行业内现场控制设备种类较多, 出于时间及工作量考虑全部实现其 Modbus 支持具有一定难度, 因此拟选取目前使用最广泛的 3 种设备作为代表, 在可控制的规模内实现; 另外, 嵌入式系统的技术复杂度较高, 拟采取的嵌入式软硬件解决方案以较为成熟的技术为主, 如 ColdFire 系列核心板+uClinux 等。

第二章、当前电除尘系统现状、面临问题及解决方案

2.1 电除尘 SCADA 系统、DCS 系统及工厂信息化的趋势

“在自动系统控制领域，信息技术与自动化技术的融合已成为一种趋势”——2006 年中国自动化系统平台技术论坛（中国自动化协会主办）。

近几年来，以太网/互联网等网络架构已逐渐在自动化产业内被广泛的采用，取代传统的串口通信而成为自动化系统通信的主流。在这种趋势下，以 TCP/IP 和以太网为代表的成熟度较高的开放式网络技术，正逐渐地被应用在各个自动化系统，连接并控制所有的设备。

另外，在当前自动化领域，采用支持用户组态的 HMI 软件开发 SCADA 系统已成为一种趋势，电除尘 SCADA 系统也不例外。所谓支持用户组态即在软件交付使用后用户能够自定义控制对象属性，如改变被控制对象的显示方式、位置及数据来源等；虽然支持用户组态的 HMI 软件（也称为组态软件）也有开发灵活性能不高、不易实现高复杂度控制的缺点，但对最终用户来说，采用组态软件开发的系统对以后维护中可能的控制对象变化和更新非常方便。

随着工业自动化和集约化程度的不断提高及信息化的发展，在生产过程控制和管理要求的驱动下，超过 90% 的大机组的发电厂及钢厂实施了或正在实施全厂范围的 DCS（集散控制系统）系统。与 20 世纪 90 年代初期的 DCS 系统不同，当前的 DCS 系统已逐步向信息管理系统和计算机网络控制扩展，并将过程控制和信息管理系统紧密结合起来。

随着国家环保要求的逐步提高，对发电厂的烟气排放要求也越来越严格。在这种背景下，将电除尘控制系统的控制信息和运行状况采集到 DCS 系统中，并通过 DCS 实现对电除尘设备的控制，实现电除尘系统与 DCS 系统的集成，成为了必然的趋势。

2.2 目前电除尘控制系统的现状

目前一台电除尘器的控制系统中，包含了各种各样的过程级控制设备如高压控制设备、PLC、电加热控制设备、卸灰控制设备、振打控制设备、以及 AD 数

据采集设备、数字量 IO 设备，为实现上述设备的远程数据采集和监控一称之为电除尘 SCADA 系统，一般采取传统的 RS-485/RS-422 通讯界面将其与工控机连接。网络结构如图 2-1 所示：

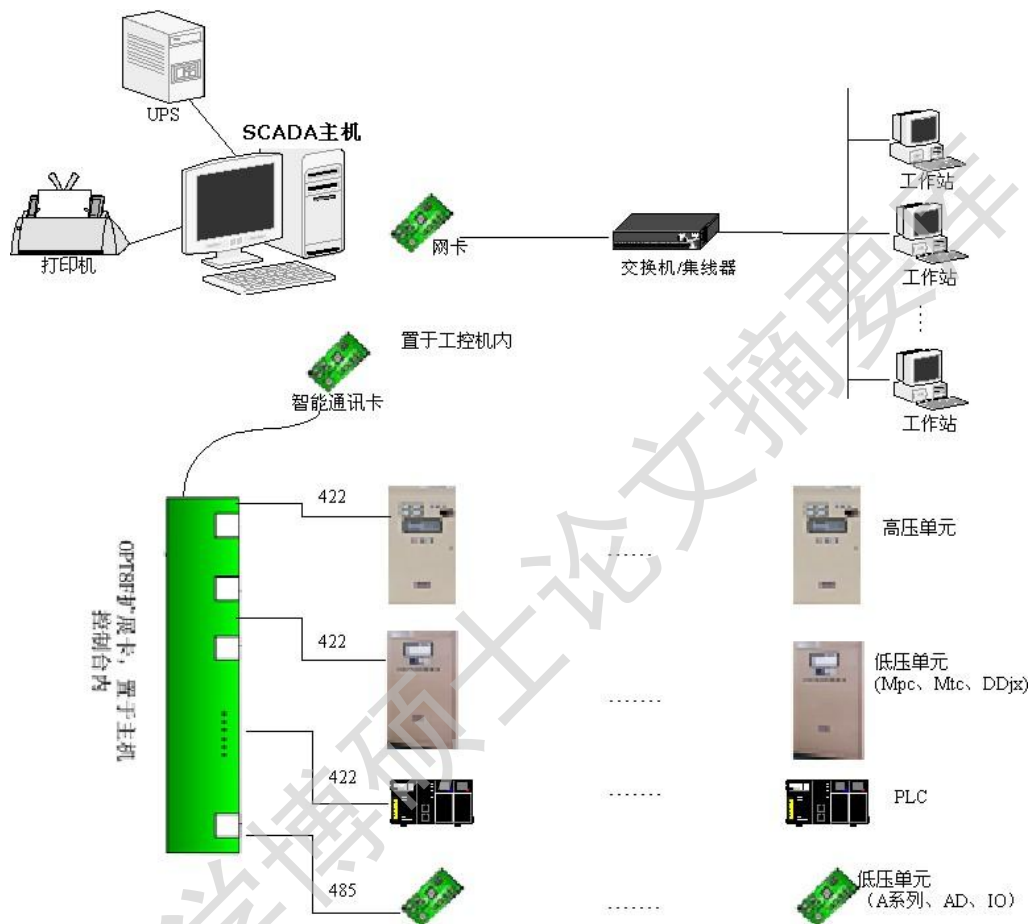


图 2-1: 传统电除尘 SCADA 系统网络结构图

而在发电厂等高干扰的工况下，RS-422/RS-485 通讯的距离一般限制在 200 米以内，否则，很难保证通讯的可靠性。很多情况下，进行远程控制的控制室距离工业现场远远大于 200 米，导致由于距离限制而无法实现分布式控制，大大限制了电除尘 SCADA 系统的应用范围。

在上图的 SCADA 主机内，SCADA 软件能够实时监控各过程控制器的运行状态，并根据电除尘运行工况自动调节多达 20 台的控制器的参数（注：20 台为一般 30 万千瓦发电机组电除尘器需配置的控制器数量，高压控制器 10 台，低压控制器 10 台），实现多控制器的协调工作，使电除尘器整体运行在最佳状态，从而能够在提高电除尘器除尘效率的前提下，节约电除尘器能耗；这种效果是以实施 SCADA 系统为必要条件的，在未实施 SCADA 系统的电除尘控制系统中，各

个过程控制器如高压控制器、低压控制器工作在“各自为政”的无序状态，只对自己控制的控制区域负责。

在目前的 20 万千瓦以上的大型发电企业中，已部署的电除尘 SCADA 系统，其软件多采用高级语言如 VC++/VB 等开发。

2.3 电除尘系统面临的主要问题

目前电除尘系统面临的主要问题有以下几个方面：

1. RS422/485 可靠通讯的距离限制。

由于通讯距离限制，如果在据工业现场 200 米范围内不具备设置集中控制室的条件，则无法部署 SCADA 系统，而部署 SCADA 系统对电除尘器的高效节能运行是必须的；或者在较远的地点实施 SCADA 系统，又无法保证其可靠运行。

2. SCADA 系统主机的可靠性问题。

在完成部署的电除尘 SCADA 系统中，由于其核心组成设备—工控机从本质上仍然属于微机范畴，存储介质一般为硬盘，CPU 及主板的散热采用风扇进行，运行 WinNT / Win2000 等操作系统，由于通讯距离限制，经常在靠近工业现场的高温、灰尘量大的控制室中运行，容易发生因震动和电磁辐射发生的硬盘损坏、因粉尘引起的风扇故障导致无法开机等问题，其可靠性无法保证，尤其现场控制室偶尔出现的突然断电更是无法接受；

3. 用户要求采用组态软件开发 SCADA 系统的问题。

由于采用组态软件开发在自动化领域的趋势越来越明显，电除尘 SCADA 系统也有必要采用组态软件代替原先的 VC++/VB 开发方式，这也是用户一直要求的。但在当前的系统架构下，电除尘系统的过程级控制器全部采用单片机开发，与上位机的通讯规约采用的是自定义方式，根本不具备标准的通讯协议支持，而目前所有的组态软件都只支持标准协议的下位机设备。

4. 电除尘系统与全厂 DCS 系统集成的问题。

随着采用分散控制、集中管理和网络化控制结构的大型集散控制系统

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库